

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-324115  
 (43)Date of publication of application : 07.12.1993

(51)Int.CI.

G06F 1/02  
 H03H 17/02

(21)Application number : 04-155919

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 22.05.1992

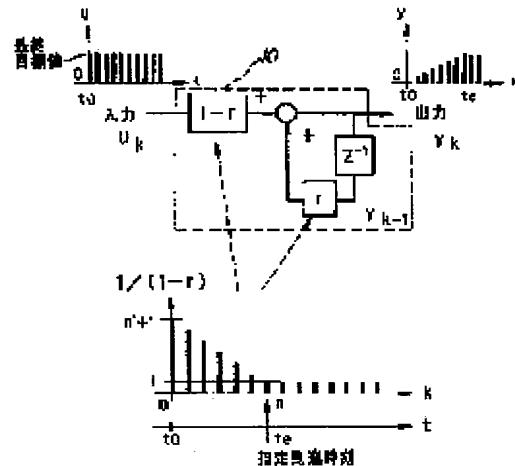
(72)Inventor : TAKENAKA TORU

## (54) SPECIFIED TIME ARRIVAL FUNCTION GENERATOR

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To obtain an output coincident with an objective value at specified arrival time and to enable changing the objective value or the specified arrival time on the mid-way of an operation by changing the characteristics of a function generator in accordance with residual time up to the specified arrival time.

**CONSTITUTION:** An input to be changed from the initial time  $t_0$  up to the final objective value like steps is imparted to a filter 10. The initial value of a pole ( $r$ ) on a Z plane is slightly smaller than '1' and is set up so as to be reduced in accordance with approaching to the specified arrival time ( $t_e$ ) and erased at the time ( $t_e$ ). In order to set up the objective value at the time ( $t_e$ ), all poles ( $r$ ) are made disappear. Since the value of the pole ( $r$ ) is changed from the vicinity of '1' to '0' so that the value of  $1/(1-r)$  is gradually reduced up to the time ( $t_e$ ), a smooth waveform completely coincident with the objective value (final arrival value) at the specified arrival time ( $t_e$ ) can be obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3233450

[Date of registration] 21.09.2001

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-324115

(43)公開日 平成5年(1993)12月7日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
G 0 6 F 1/02  
H 0 3 H 17/02

識別記号 庁内整理番号  
7165-5B  
Z 7037-5J  
L 7037-5J

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数11(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-155919

(22)出願日 平成4年(1992)5月22日

(71)出願人 000005326

本田技研工業株式会社  
東京都港区南青山二丁目1番1号

(72)発明者 竹中 透

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
社本田技術研究所内

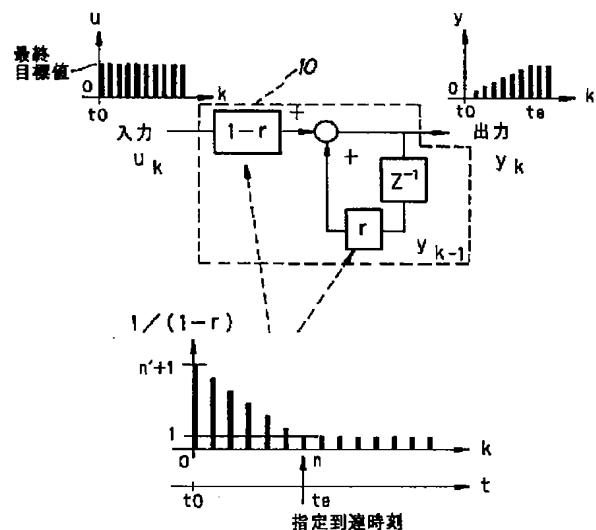
(74)代理人 弁理士 吉田 豊 (外1名)

(54)【発明の名称】 指定時刻到達関数発生器

(57)【要約】

【構成】 指定到達時刻に有限時間で目標値に一致する出力を得る関数発生器で、IIR形のデジタルフィルタから構成すると共に、その極を初期値(1付近の値)から指定到達時刻が接近するにつれて、零となる様に操作する。

【効果】 IIR形デジタルフィルタから出発してFIR形デジタルフィルタに変形させることにより、指定到達時刻で目標値に一致すると共に、滑らかに連続する出力を得ることができる。また途中で指定到達時刻や目標値を任意に変更することができる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ある目標波形に対応する値を出力する関数発生器において、

a. 前記出力値が前記目標波形に到達すべき時刻を予め指定する到達時刻指定手段、

及び

b. 前記指定到達時刻までの残り時間に応じて前記関数発生器の特性を変更する特性変更手段、

を備え、よって前記指定到達時刻に前記目標波形に少なくとも近似する出力値を得る様にしたことを特徴とする指定時刻到達関数発生器。

【請求項2】 前記関数発生器が低域通過形フィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、前記到達予定時刻が近づくにつれて通過帯域上限周波数を高くすることを特徴とする請求項1項記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項3】 前記関数発生器がフィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、その複素平面上またはz平面上の少なくとも1つの極配置を変更し、前記指定到達時刻の直前に極配置が所定の配置となる様にすることを特徴とする請求項1項または2項記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項4】 前記関数発生器がIIR形のデジタルフィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、そのz平面上の全ての極を徐々に零に近づけて前記指定到達時刻の直前に消滅させる様にしたことを特徴とする請求項1項ないし3項のいずれかに記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項5】 前記関数発生器が第2の関数発生器を備えてなり、前記特性変更手段は、該第2の関数発生器の出力値に基づいて前記極配置を変更する様にしたことを特徴とする請求項3項または4項記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項6】 前記関数発生器が更に第n ( $2 \leq n < m$ )までの関数発生器を備えてなり、それぞれの関数発生器の前記特性変更手段は、第n+1 < mの関数発生器の出力値に基づいて前記極配置を変更する様にしたことを特徴とする請求項5項記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項7】 前記関数発生器をn次接続したことを特徴とする請求項1項ないし6項のいずれかに記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項8】 前記関数発生器がリミッタを備えることを特徴とする請求項1項ないし7項のいずれかに記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項9】 前記関数発生器がフィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、フィルタの内部状態により前記極の減少度を変更することを特徴とする請求項3項ないし8項のいずれかに記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項10】 前記目標波形が多リンク機構のある部位の変位または速度であり、前記特性変更手段は、ある

2

関節変位のn次差分値に比例する値に基づいて前記極配置の変更量を修正することを特徴とする請求項3項ないし9項のいずれかに記載の指定時刻到達関数発生器。

【請求項11】 前記目標波形が多リンク機構のある部位の変位または速度であり、前記特性変更手段は、ある関節変位のn次差分値に比例する値に基づいて前記関数発生器の特性または状態変数の値を変更または修正することを特徴とする請求項3項ないし9項のいずれかに記載の指定時刻到達関数発生器。

10 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は指定時刻到達関数発生器に関し、より具体的には現在値からある目標値に、滑らかでかつ指定到達時刻に変化が完了する様な出力を得るものに関する。

【0002】

【従来の技術】入力値に対して所定の関数関係に対応した出力を得る様にした関数発生器は種々提案されており、例えば特公昭56-44451号公報記載のものなどが提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、脚式移動ロボットの遊脚軌道を生成する場合には着地時刻が限定されることから、現在値からある目標値に滑らかに変化する出力であって、かつその目標値への変化がある決められた指定到達時刻に完了する様な出力を備えた関数発生器が要求される場合がある。更に、その目標値や指定到達時刻を途中で変更できることが求められる場合がある。

30 【0004】その関数発生器をフィルタ、特に近時種々提案されているデジタルフィルタで構成しようとするとき、デジタルフィルタは一般に、巡回形デジタルフィルタ（いわゆるFIR形）と巡回形デジタルフィルタ（いわゆるIIR形）とが知られているが、それそれ以下の欠点がある。即ち、FIR形デジタルフィルタは有限時間で整定し、途中で目標値を変更しても滑らかに出力が修正されるが、途中で整定時刻（指定到達時刻）が変更できない、また整定時間が長いフィルタを作ろうとすると、高次の定係数線形差分方程式になるので、演算量が非常に多くなるなどの問題点がある。またIIR形デジタルフィルタは、途中で目標値を変更しても滑らかに出力が修正され、また演算量も少なくて済むが、同様に途中で整定時刻が変更できない、有限時間で整定できない、などの欠点がある。これはアナログフィルタを用いても同様である。更には、フィルタを利用せず、時刻についての多項式表現を用いて所望の出力を得ることも考えられるが、その場合でも演算量が多いことに加えて目標値や指定到達時刻を途中で変更することが極めて困難な点で同様の欠点を免れることができない。

40 【0005】従って、この発明の目的は上記した欠点を

50 【0005】従って、この発明の目的は上記した欠点を

解消し、現在値から目標値に指定到達時刻に有限時間で少なくとも近似する出力を得ると共に、目標値や指定到達時刻を中途で変更することができる様にした有限時間整定関数発生器を提案することにある。

【0006】更には、変化が滑らかであると共に、構成が簡易で演算量が少ない出力を得る様にした指定時刻到達関数発生器を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く、ある目標波形に対応する値を出力する関数発生器において、前記出力値が前記目標波形に到達すべき時刻を予め指定する到達時刻指定手段、及び、前記指定到達時刻までの残り時間に応じて前記関数発生器の特性を変更する特性変更手段を備え、よって前記指定到達時刻に前記目標波形に少なくとも近似する出力値を得る様に構成した。

【0008】

【作用】指定到達時刻までの残り時間に応じて関数発生器の特性を変更する様にしたので、目標波形に滑らかに変化すると共に、指定到達時刻において目標波形にほぼ又は完全に一致する出力を得ることができる。また指定到達時刻や目標値を途中で任意に変えることができる。尚、「目標値」ではなく「目標波形」としたのは、目標とするものが固定した値に限らないことを強調するためである。

【0009】

$$r = \left\{ \begin{array}{l} \frac{n' - \frac{n'}{n} k}{n'} \\ \quad \quad \quad (1 \leq k \leq n) \\ \frac{n' - \frac{n'}{n} k + 1}{n'} \\ \quad \quad \quad (k > n) \end{array} \right.$$

$$r = 0$$

【0016】数3の式の中のnは、初期時刻t<sub>0</sub>から指定到達時刻t<sub>e</sub>までのステップ数（即ち、（指定到達時刻t<sub>e</sub>-初期時刻t<sub>0</sub>）/刻み時間）を表す。またnダッシュは非負の定数であり、その大きさを変えることによって図3に示す様に出力波形を変えることができる。

【0017】上記を図4 PAD図（構造化フロー・チャート）を参照して説明すると、S10においてy0に適宜な初期値を設定し、S12に進んで数3の式のkを1からnまで1ずつ増加させながらS14以降を繰り返す。即ち、先ずS14に進んで前記した刻み時間ごとに発生するタイマ割り込みを待機し、タイマ割り込みがあったときはS16に進んで数3の式からrを求める。次いで、S18に進んで数1の式のu<sub>k</sub>に目標値（最終到達値）を代入し、S20に進んで図示の式から出力y<sub>k</sub>を求める。この様な処理をS14でタイマ割り込みがなされる度に繰り返す。

\* 【実施例】図1はこの発明に係る指定時刻到達関数発生器を、特にその入出力特性を中心にして示す説明図である。関数発生器は、公知のIIR形のデジタルフィルタ10で構成する。そこにおいて図示の如くフィルタ10には、初期時刻t<sub>0</sub>においてステップ状に最終目標値に変化する入力を与える。

【0010】ここで図1に示す構成を差分方程式で表現すると、数1の様になる。

【0011】

$$y_k = r y_{k-1} + (1-r) u_k$$

【0012】z変換してその伝達関数で表現すると、数2の様になる。尚、z平面上の極をrで示す。

【0013】

【数2】

$$H(z) = \frac{1-r}{1-r z^{-1}}$$

【0014】極rは初期値が1よりやや小さい値であり、図2に示す様に指定到達時刻t<sub>e</sub>に近づくにつれて減少し、指定到達時刻t<sub>e</sub>に消滅する様に設定する。特に単調減少である必要はないが、例えば数3に示す式の様に設定する。尚、指定到達時刻に目標値に整定させるため、全ての極を消滅させるものとする。

【0015】

【数3】

【0018】この様に、1/(1-r)の値が図1下部で示す様に指定到達時刻t<sub>e</sub>に向けて徐々に減少する様に極rの値を1付近から0に向けて変化させることから、指定到達時刻t<sub>e</sub>（nステップ目）において目標値（最終到達値）に完全に一致する滑らかな波形を得ることができる。図5にその波形をアナログ的に示す。従来のフィルタの場合にはなかなか目標値に達しないのに対し、この発明に係る関数発生器においては予定時刻で正確に目標値に一致する。尚、指定到達時刻で一致した後、出力波形は入力波形に完全に追従することになる。

【0019】上記は、IIR形フィルタから出発して途中でFIR形フィルタに特性を変更させたものと言える。その結果、有限時間で整定できないIIR形のフィルタの欠点と演算量が多くなるFIR形フィルタの欠点を相殺させることができ、有限時間で整定できると共に、初期時刻から指定到達時刻までのステップ数が多い

場合でも、演算量は少ない。従って、中途で目標値や指定到達時刻を変えても演算し直す量は多くなく、容易に中途で目標値や指定到達時刻を変えることができる。また極の設定によって出力波形を変えられる様にしたことも特徴的である。その結果、一般的に言えば、極を全体的に小さめに設定しておけば、早めに目標値の付近まで近づき、そこからゆっくりと目標値に整定する。逆に極を全体的に大きめに設定しておけば、目標値の付近に接近するまで時間がかかり、指定到達時刻の間際になって急に目標値に整定することになる。

【0020】尚、上記において極配置に着目して説明したが、要は低域通過形のフィルタにおいて指定到達時刻が近づくにつれて通過帯域上限周波数を徐々に高くすれば良い。従って、零点配置を変えても良い。例えば、後で述べるフィルタ巡回形(FIR形)フィルタの場合は、零点配置を変えることによって通過帯域を変えることができる。また極配置をz平面で説明したが、これはアナログフィルタを用いて複素平面で行っても同様である。

【0021】図6はこの発明の第2の実施例を示しており、第1実施例に示した構成を一時遅れフィルタ20で構成し、その時定数T(即ち、(-1/極)の値)を指定到達時刻t<sub>e</sub>に向けて経時的に減少させる様にした。\*

$$f(t_{rest}) = T_0 * t_{rest} / (t_e - t_0)$$

【0026】次いでS108に進んで最終段の積分器の出力を、この関数発生器の出力とする。

【0027】この実施例の場合、複素平面において極が全て負の実数である様に操作するので、第1実施例と同様に、ステップ波形を入力した場合には、オーバーシュートせず、指定到達時刻で目標値に一致する出力波形を得ることができる。また図示の様に構成が簡易であることから、指定到達時刻や目標値を容易に変更することができる。

【0028】図9はこの発明の第3の実施例を示す図1と同様の説明図であり、この例の関数発生器100の場合は、第1実施例の関数発生器を3段接続して構成した。そして3個のIIR形フィルタについてその極rを第1実施例におけると同様に操作する。図10はその動作を示すPAD図であり、S200, S210において係数が増加したことを除けば、残余のステップは第1実施例の図4フロー・チャートのそれと相違しない。この実施例の場合にはフィルタを3段結合したことから、図11に示す様に(同様にアナログ波形で示す)、2次の微分値まで滑らかに連続しており、指定到達時刻に目標値に(微分値は零に)完全に一致させることができる。

【0029】図12ないし図13はこの発明の第4の実施例を示す説明図であり、第1実施例に対する第3実施例の関係と同様に、第2実施例の1次遅れのアナログフィルタ20を3個接続して実現した。尚、この実施例においては、数5の式の時定数関数の初期値T0を適当な

\*図7にそれをアナログ回路で実現した例を示す。

【0022】図8PAD図を参照して動作を説明すると、先ずS100において到達時刻t<sub>e</sub>を指定し、S102に進んでフィルタ20に初期時刻t<sub>0</sub>においてステップ状に到達目標値に変化する目標波形を入力する。次いでS104, S106に進んで、フィルタ20の時定数T(より具体的には図7の抵抗Rの値)を、時刻t<sub>0</sub>における初期値T0(R0)から経時的に徐々に減少させ、指定到達時刻t<sub>e</sub>においてほぼ0になる様に変化させる(即ち、極の絶対値が極めて大きい負の値(または-∞)になる様に変化させる)。具体的には、フィルタの時定数Tと指定到達時刻t<sub>e</sub>までの残り時間t<sub>rest</sub>との関係を予め決めておけば良い。即ち、数4の様に、フィルタの時定数Tを指定到達時刻までの残り時間t<sub>rest</sub>の関数として与えておけば良い。

【0023】

【数4】

$$T = f(t_{rest})$$

【0024】但し、f(t<sub>rest</sub>)はt<sub>rest</sub>=0近辺ではt<sub>rest</sub>に関する増加関数であり、かつf(t<sub>rest</sub>)>0である様に設定する。例えば、数5の様に設定する。

【0025】

【数5】

$$T = T_0 * t_{rest} / (t_e - t_0)$$

値にすることによって図11に示す様に加減速が対称な波形を得ることもできる。尚、3個の可変抵抗の値は、図13に示す特性に従って例えば同率で減少させる。効果は第3実施例と同様である。尚、第2実施例と同様に最終段の積分器の出力を関数発生器の出力とするが、あるいは入力と各段の出力から例えばこれらの線形結合によって出力を決定しても良い。

【0030】図14はこの発明の第5の実施例を示す説明図であり、第3実施例を発展させ、極r自身の値もこの発明による関数発生器で決定する様にした。即ち、同様にIIR形フィルタからなる第2の関数発生器200を設け、図14の下部に示す特性を満足する様に第2関数発生器200の極hを変更し、第1関数発生器100の極rを決定する。

【0031】この実施例の場合には、第1実施例ないし第2実施例に比較して指定到達時刻の変更が一層容易となる利点を備える。即ち、第1(第3)実施例の場合に指定到達時刻を変更するときは、図1(図9)下部のrを決定する関数を修正する、即ち、数3の式を書き換えない、出力波形、特に2次微分出力波形の変化が滑らかにならなかった。それに対し、この実施例の場合、極hが数6の式で与えられる第2関数発生器200に、初期値がnダッシュで第1ステップ目から零になるステップ状波形v<sub>k</sub>を入力し、そのフィルタ出力p<sub>k</sub>から数7の式で極rを決定している。従って、指定到達時刻が変更されると、極hは急激にかつ不連続的に変化する

が、極  $r$  は徐々にしか変化しない。即ち、数3の式の書き換えなどの面倒な処理を必要とせず、波形の滑らかさを保ちながら、指定到達時刻を簡単かつ任意に変更することができる。

【0032】

【数6】

$$h = 1 - \frac{\text{刻み時間}}{\text{残り時間} + \text{刻み時間}}$$

【0033】

【数7】

$$r = 1 - \frac{1}{pk + 1}$$

【0034】図15はこの発明の第6実施例を示す説明図であり、第5実施例を更に発展させて第3の関数発生器300を追加した。即ち、第3関数発生器300に波形  $w_k$  (初期値  $n$  ツーナッシュ) を入力し、その出力  $q_k$  から第2関数発生器200の極を決定する様に、3個の関数発生器を再帰的に結合した。この実施例の場合も一層の波形の滑らかさを保ちながら、指定到達時刻を簡単かつ任意に変更することができる。尚、これから、関数発生器を4個以上所望の個数だけ結合することが可能であり、また結合する関数発生器の個数が増加するほど時刻変更による波形の滑らかさが増すことが理解できよう。

【0035】図16はこの発明の第7実施例を示す説明図であり、FIR形(非巡回形)デジタルフィルタを用いた例を示す。FIR形デジタルフィルタは、一般に数8に示す様な差分方程式で表現される。

【0036】

【数8】

$$y_k = \sum_{m=0}^M a_m * u_{k-m}$$

【0037】この実施例では、この係数  $a_m$  を適当に変化させることによってフィルタの通過帯域上限周波数を徐々に高くしていき、指定到達時刻に滑らかに目標値に到達する波形を作る様にした。フィルタの周波数特性を決めれば、その周波数特性を満足するフィルタの係数  $a_m$  を求めることは、デジタルフィルタ設計手法として一般化されている(例えば、昭見堂、「デジタルフィルタデザイン」三谷政昭著)。この実施例は、それを利用したものである。

【0038】ここで係数  $a_m$  は、フィルタのインパルス応答の時系列となっている。従って、所望のインパルス応答を設定すれば、それを満足する係数を設計することは極めて簡単である。図示の例は、インパルス応答波形パターンが徐々に変化する様に、フィルタ特性を変化させた。即ち、図16に示す様に、先ず、鈍いインパルス

応答波形、やや鈍いインパルス応答波形、やや鋭いインパルス波形、鋭いインパルス応答波形など、段階的に応答性の異なる規範インパルス応答波形のグループを用意しておく。係数  $a_m$  は規範のインパルス応答波形を満足する様に、規範のインパルス応答波形が変更される度に設計し直す様にする。具体的には、初期時刻  $t_0$  から、規範インパルス応答波形を鈍いものから鋭いものへと変更していく。前記非巡回形デジタルフィルタに、初期時刻  $t_0$  から変化し始めて指定到達時刻より  $M$  ステップ前に最終目標値に到達するランプ状波形を入力する。但し、 $M$  は、指定到達時刻直前の前記非巡回形デジタルフィルタの次数である。その結果、前記非巡回形デジタルフィルタの出力は滑らかになり、指定到達時刻に最終目標値に到達する。

【0039】あるいは、ある規範の低域通過形フィルタを設定し、非巡回形デジタルフィルタの係数  $a_m$  を規範の低域通過形フィルタの周波数特性を満足する様に、規範の低域通過形フィルタが変更される度に設計し直しても良い。その場合は、初期時刻  $t_0$  から、規範の低域通過形フィルタのカットオフ周波数を徐々に上げていき、前記FIR形フィルタに、初期時刻  $t_0$  から変化し始めて指定到達時刻より  $M$  ステップ前に最終目標値に到達するランプ状波形を入力する。但し、 $M$  は指定到達時刻直前の前記FIR形フィルタの次数である。その結果、前記FIR形デジタルフィルタの出力は滑らかになり、指定到達時刻に最終目標値に到達する。

【0040】第7実施例の場合、初期時刻から指定到達時刻までのステップ数 ((指定到達時刻 - 初期時刻) / 刻み時間) が少ない場合には、差分方程式の次数を低くすることができるので、演算量が少なくて済むが、ステップ数が多い場合には差分方程式の次数を大きくとらなければならないので、第1実施例などに比べて演算量が多くなる。但し、第1実施例などに比較して波形の制約が少なく、自由度が高い波形を生成することができる。また途中で目標値が変更されても、オーバーシュート量が小さい。即ち、基本的に過去の入力の重み付き平均演算であるから、重み、即ち、係数  $a_m$  を全て非負にすれば、入力範囲を超える出力は発生しない。

【0041】図17はこの発明の第8実施例を示す説明図である。これは第4実施例にリミッタを加えることによって出力波形の急激な変化を抑制する様にした。但し、リミッタがない場合に比べ、極を全体的に小さめに設定しておかないと、指定到達時刻の間際になって急に目標値に整定することになってしまう恐れがある。尚、第4実施例に加える例のみを示したが、第2実施例に示した構成に加えても良い。

【0042】図18はこの発明の第9実施例を示す説明図である。この実施例の場合は、出力波形  $y_k$  の差分値  $e$  が所定範囲 ( $-L, L$ ) を超えそうになると、超えた分に応じて極  $r$  を生成するフィルタ(第2関数発生器2

00) の極である  $h$  を修正することによって極  $r$  の減少率を弱め、差分値が急激に変化するのを防ぐ様にした。即ち、第2関数発生器 200 (  $r_k$  を決定するフィルタ)において、値  $p_k$  の勾配が大き過ぎると、1次微分値や2次微分値の変化が大きくなり過ぎるため、それを防止した。これによって、続いて述べる脚式移動ロボットの関節制御に利用するときも、関節駆動モータの回転速度を超えることがない。但し、指定到達時刻が優先されることから、その直前では微分値に急激な変化を抑制できない場合もあり得る。差分値が非線形ながらも波形生成系にフィードバックされている例と言える。

【0043】図19はこの発明の第10実施例を示す説明図であり、脚式移動ロボットの遊脚軌道生成に応用した例を示す。脚式移動ロボットでは同図に示す様に、脚先端の移動パターンを決定してから、逆キネマティクス計算によって関数の角度を求める場合が多い。この場合、脚先端の移動パターン自体は加減速が緩やかな波形になっていても、関節が伸び切った状態に近い姿勢になっていると、関節に過大な角速度や角加速度が発生しやすい。そこでこの実施例の場合にはその不都合を防止した。

【0044】図20はこの発明の第11実施例で同様に脚式移動ロボットの軌道生成に応用した例を示す説明図である。この例では第3実施例に膝関節角速度の絶対値をフィードバックして関節角速度が過大になるのを防止した。即ち、第9実施例や第10実施例でも同様であるが、この発明に係る関数発生器の出力は滑らかであっても、脚式移動ロボットに応用するとき、脚式移動ロボットが構造的に非線形であることから、例えば変位加速度は必ずしも期待した通りの滑らかさを持たない。そこでこの実施例では、第10実施例を更に発展させ、関節角速度の絶対値をフィードバックした。具体的には、図示の様な不感帯特性を与えた関節角速度絶対値にゲイン  $K$  と極  $r$  を乗じた値を、関数発生器 100 の状態変数に加える。尚、指定到達時刻が優先されることから、その時刻付近になるとフィードバック制御値は殆ど零となり、第10実施例と同様に場合により角速度変化が大きいままとなる。

【0045】尚、上記から明らかな如く、いずれの実施例においても入力波形としては初期時刻から最終目標値にステップ状に変化する入力、入力現在値から最終目標値にランプ状に変化する入力、入力現在値からある中間目標値にステップ状に変化し、所定時間後に最終目標値にステップ状に変化する入力、一旦最終目標値を超える様に変化する入力、折れ線状の入力、インパルス波形入力など種々のものを与えることができる。

【0046】また、第5、第6実施例で第2、第3の関数発生器を設ける例を示したが、第2または第4実施例においても同様に第2、第3の関数発生器を設けて時定数  $T$  自体を決定しても良い。即ち、初期値が  $T_0$  であっ

て、最終目標値がほぼ0である波形を第2、第3の関数発生器に入力し、その出力を時定数  $T$  の値としても良い。

【0047】また、上記において、応用例として脚式移動ロボットの遊脚軌道生成のみを示したが、それに限られるものではなく、自動走行車など他の形態の移動体の軌道生成に応用しても良く、あるいは据え付け形の産業ロボットのマニピュレータの軌道生成に応用しても良い。

10 【0048】

【発明の効果】請求項1項にあっては、ある目標波形に対応する値を出力する関数発生器において、前記出力値が前記目標波形に到達すべき時刻を予め指定する到達時刻指定手段、及び、前記指定到達時刻までの残り時間に応じて前記関数発生器の特性を変更する特性変更手段を備え、よって前記指定到達時刻に前記目標波形に少なくとも近似する出力値を得る様に構成したので、現在値から目標値に指定到達時刻に有限時間でほぼ又は完全に一致すると共に、滑らかに変化する出力を得ることができる。

20

【0049】請求項2項にあっては、前記関数発生器が低域通過形フィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、前記到達予定時刻が近づくにつれて通過帯域上限周波数を高くする様に構成したので、現在値から目標値に指定到達時刻に有限時間でほぼ又は完全に一致すると共に、滑らかに変化する出力を得ることができ、更には途中で指定到達時刻や目標値を任意に変更することができる。尚、指定到達時刻以降は、定常のフィルタ(定係数フィルタ)になどても良く、またフィルタはデジタル、アナログを問わない。

30

【0050】請求項3項にあっては、前記関数発生器がフィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、その複素平面上または  $z$  平面上の少なくとも1つの極配置を変更し、前記指定到達時刻の直前の極配置が所定の配置となる様にする如く構成したので、現在値から目標値に指定到達時刻に有限時間でほぼ又は完全に一致すると共に、滑らかに変化する出力を得ることができ、更には途中で指定到達時刻や目標値を任意に変更することができる。

40

尚、フィルタとしてはデジタル、アナログを問わない。

【0051】請求項4項にあっては、前記関数発生器が IIR 形のデジタルフィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、その  $z$  平面上の全ての極を徐々に零に近づけて前記指定到達時刻の直前に消滅させる様に構成したので、IIR 形のデジタルフィルタから出発して結果的に FIR 形のデジタルフィルタの機能を奏すこととなり、現在値から目標値に指定到達時刻に有限時間で完全に一致すると共に、滑らかに変化する出力を得ることができ、更には途中で指定到達時刻や目標値を任意に変更することができる。

50

【0052】請求項5項にあっては、前記関数発生器が第2の関数発生器を備えてなり、前記特性変更手段は、該第2の関数発生器の出力値に基づいて前記極配置を変更する様に構成したので、前記した効果に加えて、波形の滑らかさを保ちながら、指定到達時刻や目標値の変更を一層容易に行うことができる。

【0053】請求項6項にあっては、前記関数発生器が更に第n ( $2 \leq n < m$ )までの関数発生器を備えてなり、それぞれの関数発生器の前記特性変更手段は、第n+1 < mの関数発生器の出力値に基づいて前記極配置を変更する様に構成したので、前記した効果に加えて、波形の一層の滑らかさを保ちながら、指定到達時刻や目標値の変更を一層容易に行うことができる。

【0054】請求項7項にあっては、前記関数発生器をn次接続した様に構成したので、より高次の微分値まで滑らかにして目標値に一致させることができる。

【0055】請求項8項にあっては、前記関数発生器がリミッタを備える様に構成したので、その出力をロボットの軌道生成などに利用するときも、駆動モータの最大回転速度以下の速度に抑制することができる。

【0056】請求項9項にあっては、前記関数発生器がフィルタを備えてなり、前記特性変更手段は、フィルタの内部状態により前記極の減少度を変更する様に構成したので、前記した効果に加えて、滑らかに連続して有限時間に指定到達時刻に目標値に完全に一致する出力を一層的確に得ることができる。

【0057】請求項10項にあっては、前記目標波形が多リンク機構のある部位の変位または速度であり、前記特性変更手段は、ある関節変位のn次差分値に比例する値に基づいて前記極配置の変更量を修正する様に構成したので、脚式移動ロボットなど構造的に非線形なものであっても、それを良く補償することができて変位速度などを抑制することができ、制御値を効果的に決定することができる。

【0058】請求項11項にあっては、前記目標波形が多リンク機構のある部位の変位または速度であり、前記特性変更手段は、ある関節変位のn次差分値に比例する値に基づいて前記関数発生器の特性または状態変数の値を変更または修正する様にしたので、脚式移動ロボットなど構造的に非線形なものであっても、一層滑らかな動作を実現することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る指定時刻到達関数発生器をその入出力特性を中心示す説明図である。

【図2】図1の関数発生器における極の操作をz平面で説明する説明図である。

【図3】図1の関数発生器における極の操作に使用する係数の特性を示す説明図である。

【図4】図1の関数発生器における極の操作を説明する

フロー・チャートである。

【図5】図1の関数発生器より得られる出力をアナログ波形で示す波形図である。

【図6】この発明の第2実施例を示す説明図であり、図1の関数発生器を1次遅れフィルタで実現した例を示す説明図である。

【図7】図6に示した1次遅れフィルタをアナログ回路で実現した例を示す回路図である。

【図8】図6ないし図7に示した第2実施例の動作を示すフロー・チャートである。

【図9】この発明の第3実施例を示す説明図であり、図1の関数発生器を3段接続した例を示す説明図である。

【図10】図9に示した第3実施例の動作を示すフロー・チャートである。

【図11】図9ないし図10に示す第3実施例の関数発生器により得られる出力をアナログ波形で示す波形図である。

【図12】この発明の第4実施例を示す説明図であり、図6に示した第2実施例の関数発生器を3段接続した例を示す説明図である。

【図13】図12の第4実施例をアナログ回路で実現した例を示す回路図である。

【図14】この発明の第5実施例を示す説明図であり、第3実施例の構成において第2の関数発生器を追加し、それにより極を決定する例を示す説明図である。

【図15】この発明の第6実施例を示す説明図であり、第5実施例の構成において第3の関数発生器を追加し、それにより極を決定する例を示す説明図である。

【図16】この発明の第7実施例を示す説明図であり、第7実施例で使用するインパルス応答波形を示す波形図である。

【図17】この発明の第8実施例を示す説明図であり、第4実施例の構成にリミッタを加えた例を示す説明図である。

【図18】この発明の第9実施例を示す説明図で、この発明に係る関数発生器の出力に不感帯を与えた例を示す説明図である。

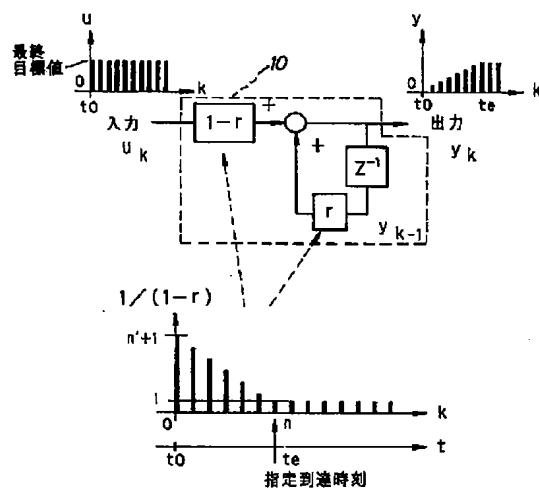
【図19】この発明の第10実施例を示す説明図で、この発明に係る関数発生器を脚式移動ロボットの遊脚軌道生成に応用した例を示す説明図である。

【図20】この発明の第11実施例を示す説明図で、図19に示した第10実施例と同様にこの発明に係る関数発生器を脚式移動ロボットの遊脚軌道生成に応用した例を示す説明図である。

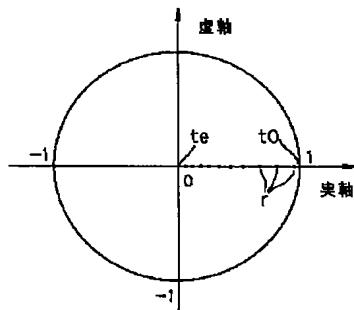
#### 【符号の説明】

10, 100, 200, 300 IIR形デジタルフィルタ (関数発生器)

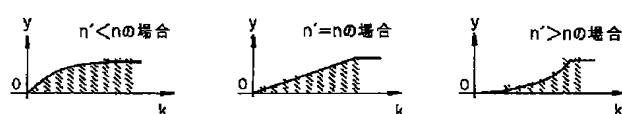
【図1】



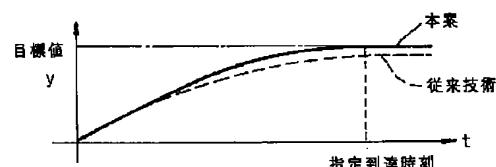
【図2】



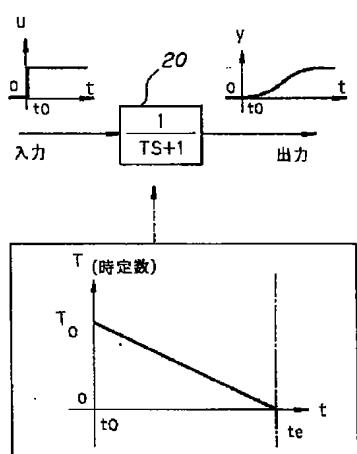
【図3】



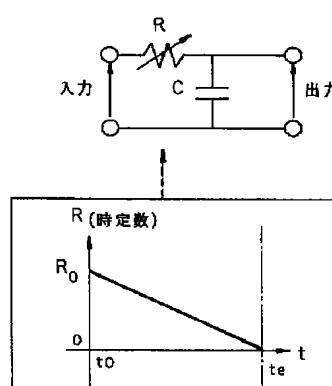
【図5】



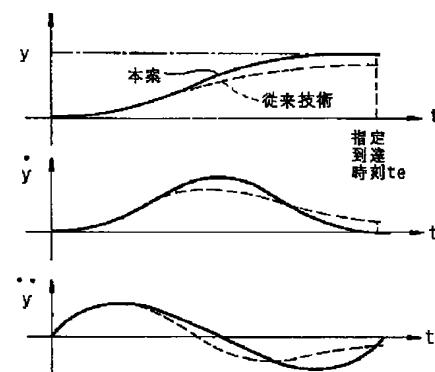
【図6】



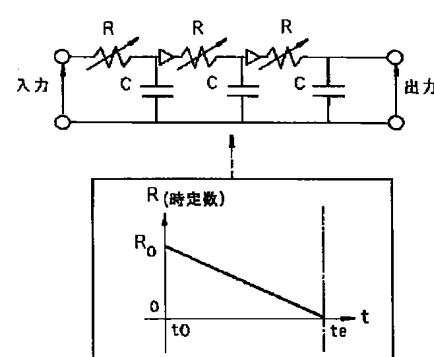
【図7】



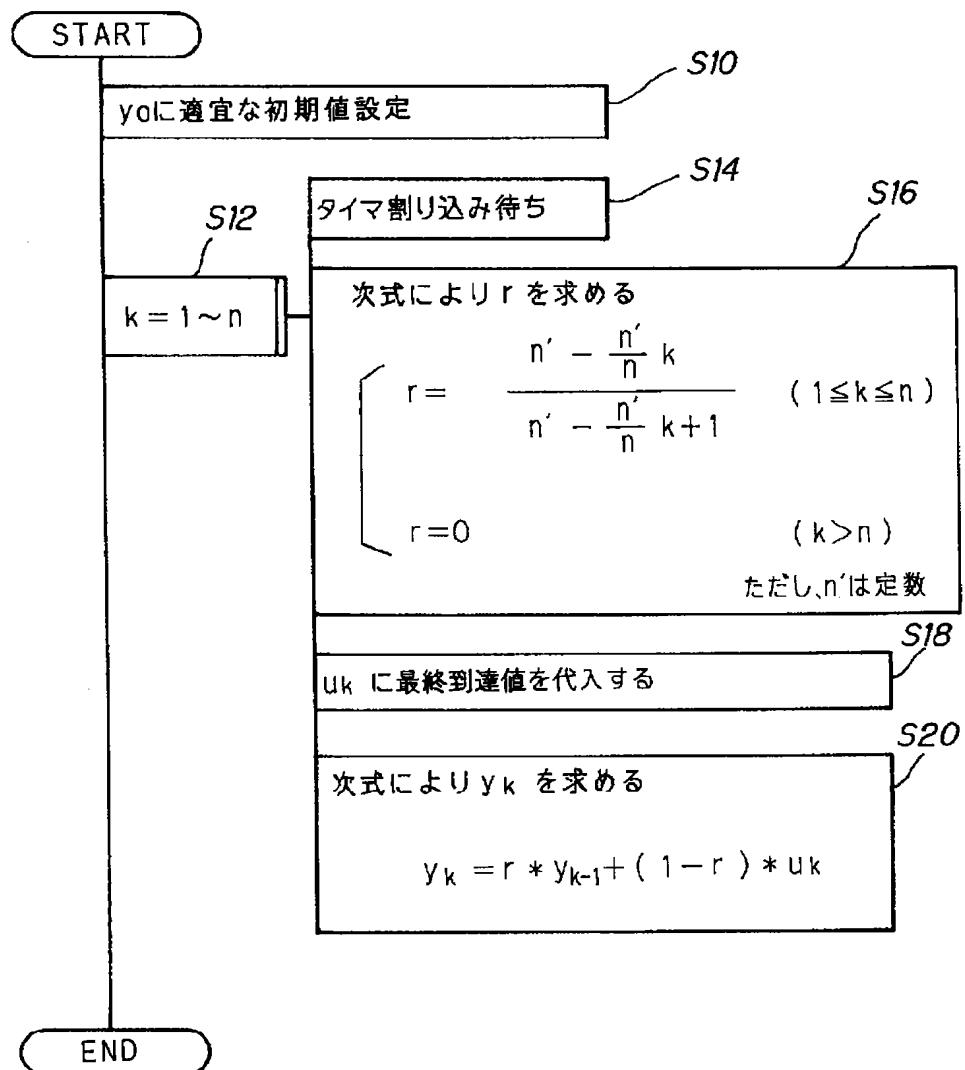
【図11】



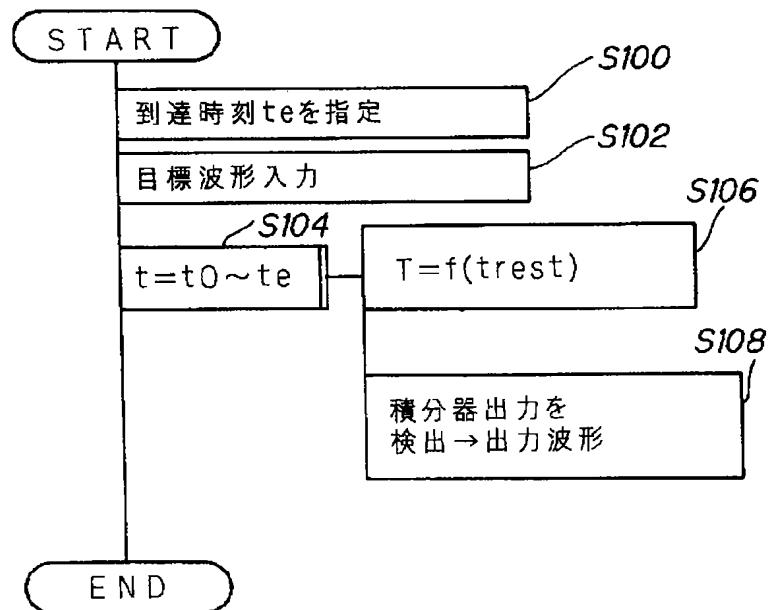
【図13】



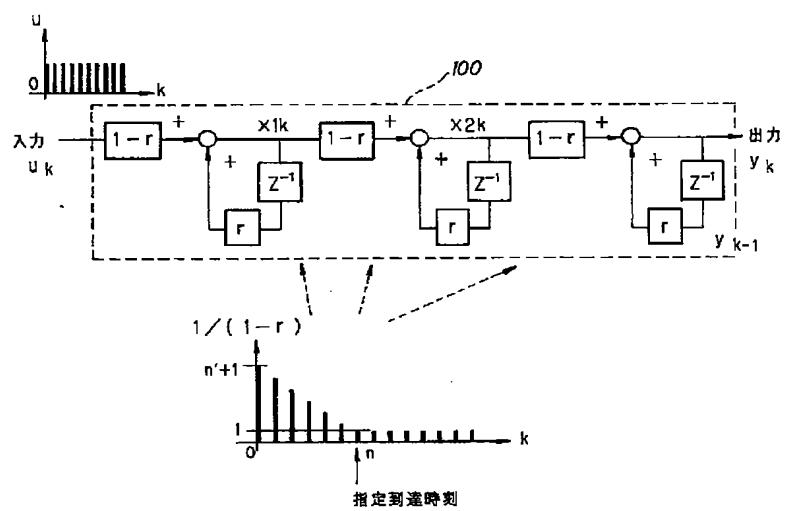
【図4】



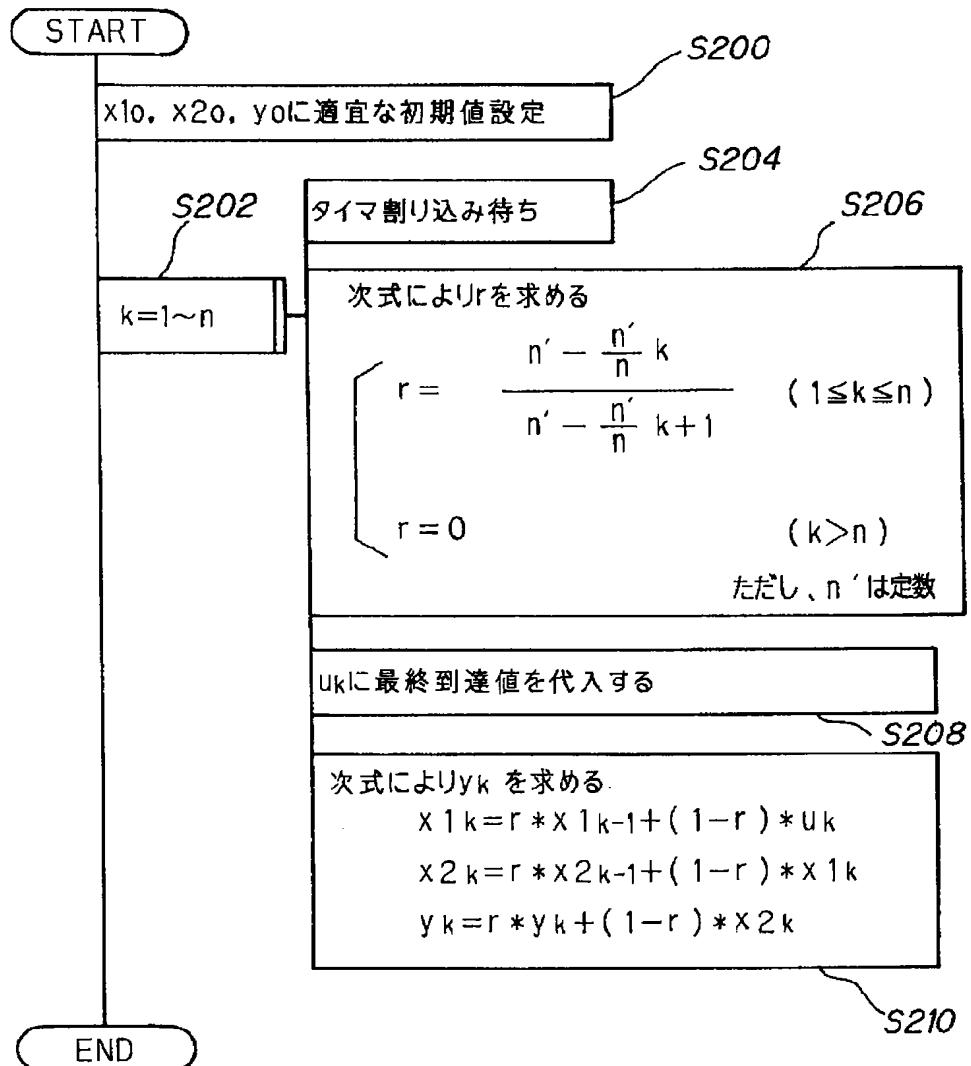
【図8】



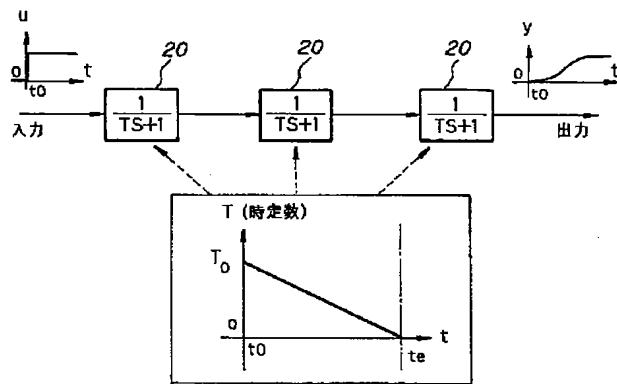
【図9】



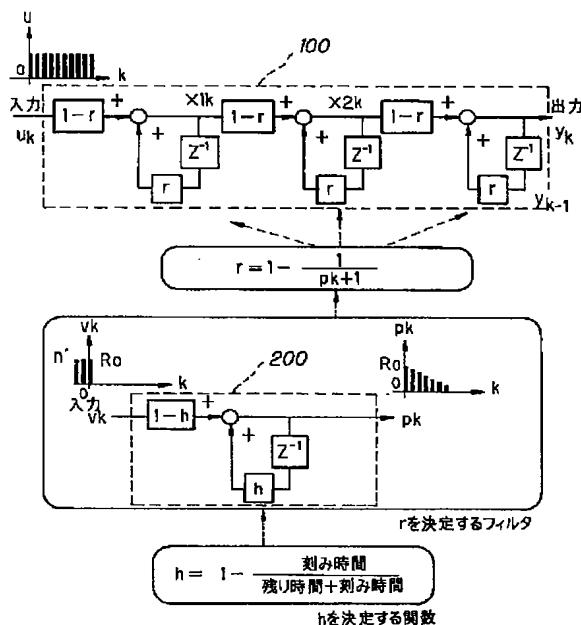
【図10】



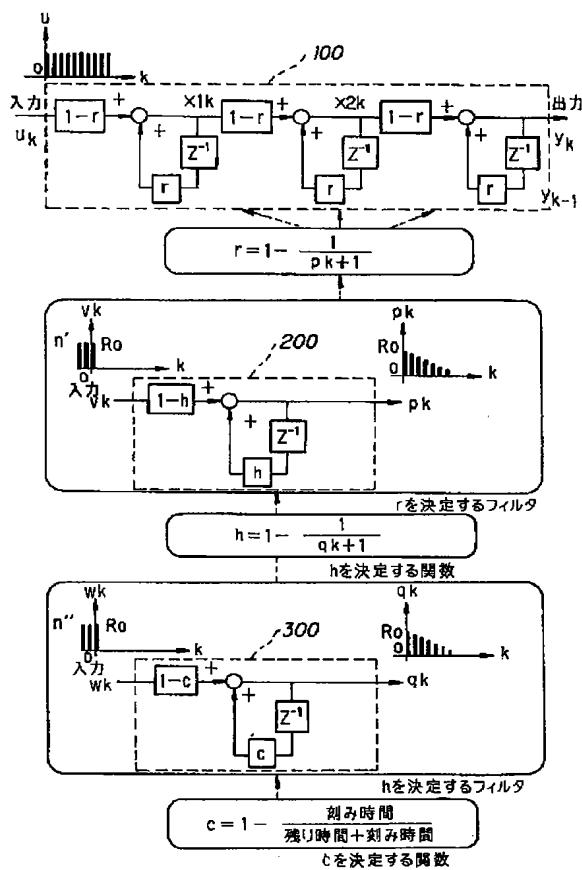
【図12】



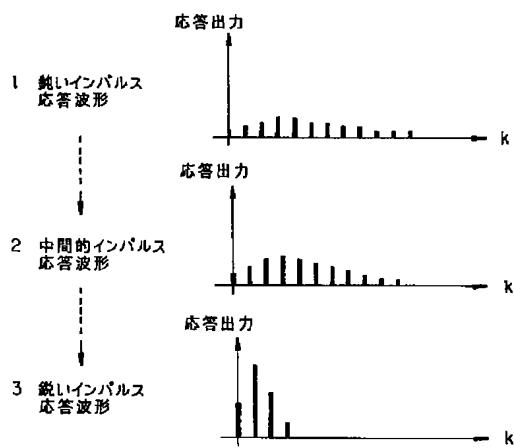
【図14】



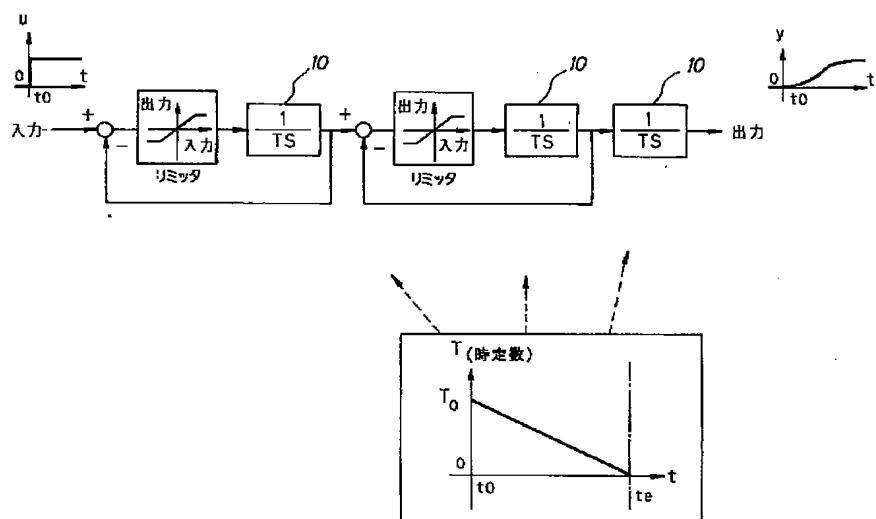
【図15】



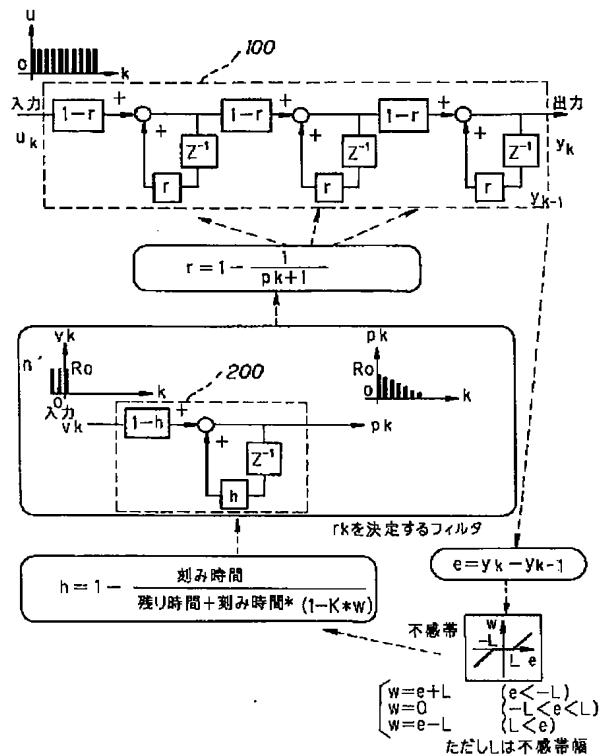
【図16】



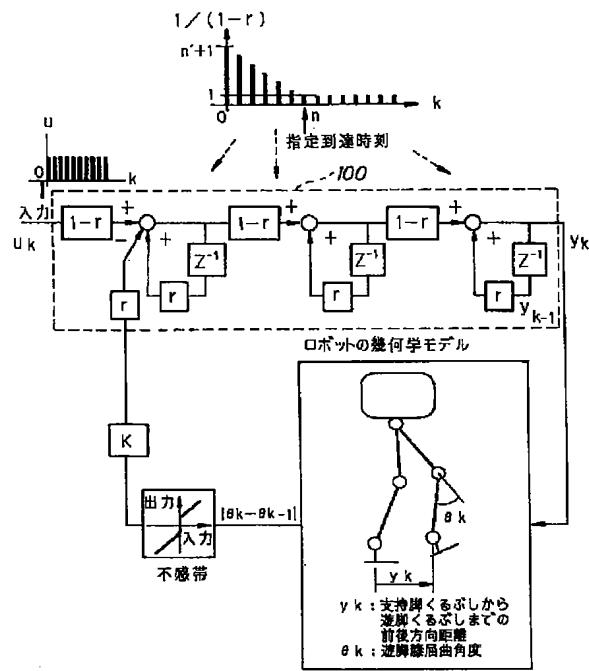
【図17】



【図18】



【図20】



【図19】

ロボットの幾何学モデル

